

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-27928

(43)公開日 平成10年(1998) 1月27日

(51)Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 39/20	Z A A		H 0 1 L 39/20	Z A A
H 0 1 B 12/00	Z A A		H 0 1 B 12/00	Z A A
13/00	5 6 5		13/00	5 6 5 D
H 0 1 F 6/06	Z A A		H 0 1 F 5/08	Z A A B

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平8-179491

(22)出願日 平成 8 年(1996) 7 月 9 日

(71)出願人 000002130

住友電気工業株式会社
大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番33号

(72)発明者 大倉 健吾

大阪市此花区島屋一丁目 1 番 3 号 住友電
気工業株式会社大阪製作所内

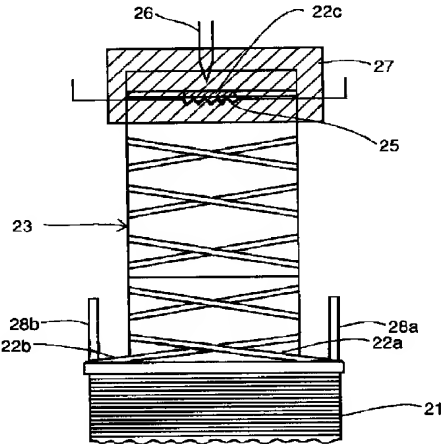
(74)代理人 弁理士 深見 久郎 (外 2 名)

(54)【発明の名称】 永久電流スイッチ付超電導コイルおよびその製造方法

(57)【要約】

【課題】 接続抵抗が小さく、信頼性の高い永久電流スイッチ付超電導コイルを提供する。

【解決手段】 ソレノイドコイル 2 1 を構成するビスマス系酸化物超電導線の両端 2 2 a および 2 2 b を芯材 2 3 に巻きつけ、所定の部分 2 2 c で接合する。接合は、線材の両端部を重ね合わせ、加熱することによって実現される。接合された両端部は、ヒータ 2 5 とともにソレノイドコイル 2 1 のための永久電流スイッチとして機能する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 超電導コイルと前記超電導コイルを短絡する永久電流スイッチとを備える、永久電流スイッチ付超電導コイルにおいて、

前記超電導コイルおよび前記永久電流スイッチはともに、ビスマス系酸化物超電導体とそれを覆う銀または銀合金からなる安定化材とからなる酸化物超電導線材を備え、

前記超電導コイルおよび前記永久電流スイッチをそれぞれ構成する前記酸化物超電導線材は、前記短絡のため、前記安定化材同士の拡散接合により接合されていることを特徴とする、永久電流スイッチ付超電導コイル。

【請求項2】 前記超電導コイルを形成する前記酸化物超電導線の両端末部分が前記安定化材同士の拡散接合により接合されており、前記両端末部分が前記永久電流スイッチとして利用されることを特徴とする、請求項1記載の永久電流スイッチ付超電導コイル。

【請求項3】 前記永久電流スイッチの前記酸化物超電導線は、芯材にコイル状に巻かれており、前記芯材において、前記超電導コイルに近い部分は熱電導率の低いセラミックスからなり、前記超電導コイルに遠い部分はステンレス鋼からなることを特徴とする、請求項1または2記載の永久電流スイッチ付超電導コイル。

【請求項4】 前記永久電流スイッチは、前記酸化物超電導体を加熱するための発熱体と、前記発熱体を覆う熱絶縁材とをさらに備えることを特徴とする、請求項1～3のいずれか1項記載の永久電流スイッチ付超電導コイル。

【請求項5】 ビスマス系酸化物超電導体の焼結体と、それを覆う銀または銀合金からなる安定化材とからなる酸化物超電導線材をその両端部分を残して巻き、超電導コイルを形成する工程と、

前記両端部分を互いに重ね合わせる工程と、重ね合わせた部分を500℃～900℃の温度において加熱し、前記両端部分の安定化材同士を拡散接合させる工程とを備え、

前記接合された両端部分を永久電流スイッチとして利用することを特徴とする、永久電流スイッチ付超電導コイルの製造方法。

【請求項6】 前記両端部分を芯材に巻いた状態で加熱し、

前記芯材において、前記超電導コイルに近い部分は熱電導率の低いセラミックスからなり、前記超電導コイルに遠い部分はステンレス鋼からなり、

前記加熱により接合すべき部分は、前記ステンレス鋼からなる前記芯材の部分上に設けられることを特徴とする、請求項5記載の永久電流スイッチ付超電導コイルの製造方法。

【請求項7】 ビスマス系酸化物超電導体の焼結体と、

それを覆う銀または銀合金からなる安定化材とからなる第1の酸化物超電導線材が巻かれた超電導コイルの両端部に、ビスマス系酸化物超電導体の焼結体と、それを覆う銀または銀合金からなる安定化材とからなる第2の酸化物超電導線材の両端部をそれぞれ重ね合わせる工程と、

重ね合わせた部分を500℃～900℃の温度において加熱し、前記両端部分の安定化材同士を拡散接合させる工程とを備え、

前記第2の酸化物超電導線材を永久電流スイッチとして利用することを特徴とする、永久電流スイッチ付超電導コイルの製造方法。

【請求項8】 前記第2の酸化物超電導線材を芯材に巻いた状態で加熱し、

前記芯材において、前記超電導コイルに近い部分は熱電導率の低いセラミックスからなり、前記超電導コイルに遠い部分はステンレス鋼からなり、

前記加熱により接合すべき部分は、前記ステンレス鋼からなる前記芯材の部分上に設けられることを特徴とする、請求項7記載の永久電流スイッチ付超電導コイルの製造方法。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】本発明は、酸化物超電導線を使用した永久電流スイッチ付超電導コイルおよびその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】超電導マグネットを運転させる方法として、常にマグネットに電源から電流を流す方法と、永久電流スイッチを超電導マグネットのコイルに電源に対して並列に接続し、励磁した後はこのスイッチによりコイルを電源から切り離して永久電流モードに移行させる方法とがある。

【0003】永久電流スイッチを用いた永久電流モードの運転法を図1に示す。図に示すように、超電導マグネット1の端子間には短絡スイッチ2が設けられる。この短絡スイッチ2は永久電流スイッチと呼ばれ、短絡時の抵抗を低くするため、通常、超電導体が用いられる。超電導体を用いたスイッチにおいて、たとえばヒータ加熱によって超電導体の温度を臨界温度 T_c 以上とすることにより抵抗が発生した状態で、電源3から定格電流値まで超電導マグネット1に電流を流し、励磁を行なう。次いで、スイッチ2を超電導状態に移行させ、短絡を行なえば、励磁電源を取り外しても一定電流の通電が継続されることになる。このようにして永久電流モードの運転が可能である。

【0004】永久電流スイッチには、たとえば次のような特性が要求される。

(1) ON時の抵抗が0であるかまたは小さいこと。

【0005】(2) OFF時の抵抗が大きいこと。

(3) 必要電流を安定に流すことができること。

【0006】(4) スwitchング時間が短く、信頼性および操作性が高いこと。従来の合金系または化合物系超電導線材を用いた超電導マグネットに対しては、Nb線またはNbTi線を使用した永久電流スイッチが用いられている。この場合、永久電流モードに移行させるための温度は、4、2K(液体ヘリウム温度)であり、それより高い温度で使用することはできない。

【0007】近年、液体窒素温度以上において超電導状態を示す酸化物超電導体が発見されて以来、この材料を用いた超電導マグネットの開発も進められている。したがって、Nb線またはNbTi線を用いたスイッチを、酸化物超電導体を用いたコイルに組合せて4、2Kの温度で使用することも考えられる。しかしながら、Nb線またはNbTi線と酸化物超電導体との接合は比較的に困難である。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、酸化物超電導体を用いたコイルにより適した永久電流スイッチを提供することである。

【0009】本発明のさらなる目的は、ON時の抵抗がより小さな永久電流スイッチを酸化物超電導体を用いたコイルに対して提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、超電導コイルと超電導コイルを短絡する永久電流スイッチとを備える永久電流スイッチ付超電導コイルを提供する。本発明において、超電導コイルおよび永久電流スイッチはともに、ビスマス系酸化物超電導体とそれを覆う銀または銀合金からなる安定化材とからなる酸化物超電導線材を備える。超電導コイルおよび永久電流スイッチをそれぞれ構成する酸化物超電導線材は、安定化材同士の拡散接合により接合されている。この接合により、超電導コイルの短絡がなされている。

【0011】本発明の好ましい具体例において、超電導コイルを形成する酸化物超電導線の両端末部分が安定化材同士の拡散接合により接合されており、該両端末部分が永久電流スイッチとして利用される。

【0012】本発明において、永久電流スイッチの酸化物超電導線は、芯材にコイル状に巻くことができる。この芯材において、超電導コイルに近い部分は熱電導率の低いセラミックスからなり、超電導コイルに遠い部分はステンレス鋼からなることが好ましい。

【0013】また本発明において、永久電流スイッチは、酸化物超電導体を加熱するための発熱体と、この発熱体を覆う熱絶縁材とを備えることができる。

【0014】本発明によって永久電流スイッチ付超電導コイルの製造方法が提供される。この製造方法は、ビスマス系酸化物超電導体の焼結体と、それを覆う銀または銀合金からなる安定化材とからなる酸化物超電導線を両

端部分を残して巻き、超電導コイルを形成する工程と、両端部分を互いに重ね合わせる工程と、重ね合わせた部分を500℃～900℃の温度において加熱し、両端部分の安定化材同士を拡散接合させる工程とを備える。接合された両端部分は永久電流スイッチとして利用される。

【0015】本発明によって永久電流スイッチ付超電導コイルの他の製造方法が提供される。この製造方法は、ビスマス系酸化物超電導体の焼結体と、それを覆う銀または銀合金からなる安定化材とからなる第1の酸化物超電導線材が巻かれた超電導コイルの両端部に、ビスマス系酸化物超電導体の焼結体と、それを覆う銀または銀合金からなる安定化材とからなる第2の酸化物超電導線材の両端部をそれぞれ互いに重ね合わせる工程と、重ね合わせた部分を500℃～900℃の温度において加熱し、両端部分の安定化材同士を拡散接合させる工程とを備える。この方法において、第2の酸化物超電導線材は、永久電流スイッチとして利用される。

【0016】本発明の製造方法において、超電導コイルを構成する線材の両端部分または、永久電流スイッチを構成すべき線材の部分は芯材に巻いた状態で加熱することができる。この芯材において、超電導コイルに近い部分は熱電導率の低いセラミックスからなり、超電導コイルに遠い部分はステンレス鋼からなることが好ましい。加熱により接合すべき線材の部分は、ステンレス鋼からなる芯材の部分上に設けることが好ましい。

【0017】

【発明の実施の形態】本発明では、超電導コイルおよび永久電流スイッチにビスマス系酸化物超電導線材を用いる。ビスマス系酸化物超電導体には、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_{8-x}$ 、 $(\text{Bi}, \text{Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_{8-x}$ ($0 \leq x < 1$) 等の2212相を有するビスマス系酸化物超電導体、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10-z}$ 、 $(\text{Bi}, \text{Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10-z}$ ($0 \leq z < 1$) 等の2223相を有するビスマス系酸化物超電導体などがある。ビスマス系酸化物超電導体は、高い臨界温度を有し、高い臨界電流密度を有する線材を比較的容易に得ることができる。したがって、特に永久電流スイッチにビスマス系酸化物超電導線材を用いれば、必要な電流を安定に流すことができ、Switchング時間が短く、信頼性および操作性が高い永久電流スイッチを提供することができる。

【0018】本発明において、酸化物超電導線には、安定化材からなるシース中に酸化物超電導体の原料粉末を充填し、塑性加工を施した後焼結する方法(いわゆるパウダ・イン・チューブ法)によって作製されたものを用いることができる。このような方法において、安定化材には銀または銀合金を好ましく用いることができ、形成される線材は、焼結された酸化物超電導体が銀または銀合金により覆われた構造を有する。この方法において、塑性加工には、伸線加工、静水圧プレス加

工、圧延加工等がある。特に、伸線加工および／または静水圧プレス加工と、圧延加工との組合せにより、テープ状超電導線が得られ、このような線材を好ましく用いることができる。用いられる超電導線は、単芯線および多芯線のいずれでもよい。テープ状超電導線のフィラメントは、テープ線の長手方向にわたってほぼ均一な超電導相を有し、超電導相のc軸はテープ線の厚み方向にはほぼ平行に配向している。また、フィラメントにおける結晶粒は、テープ線の長手方向に延びるフレーク状であり、結晶粒同士は強く結合している。フレーク状の結晶粒は、テープ線の厚み方向に積層される。安定化材としてAg-Au合金、Ag-Mn合金等の銀合金を用いた線材は、安定化材として銀を用いた線材よりも熱電導率が低く、外界からの熱の侵入および外界への熱の放出を抑制するうえではより好ましい。

【0019】本発明において、超電導コイルを構成する酸化物超電導線と永久電流スイッチを構成する酸化物超電導線とは、拡散接合により、電気的に接合される。線材の一方の安定化材が線材の他方の安定化材に拡散することにより、接合部が形成されている。したがって、接合部には、酸化物超電導線に含有される材料以外の材料は用いられていない。このような拡散接合により、スイッチとコイルとの接続部に発生する電気抵抗を低く抑えることができる。拡散接合部は、共晶ハンダ、低温ハンダ等を用いた接合部よりも顕著に電気抵抗が低い。低温における銀または銀合金の電気抵抗は、ハンダの電気抵抗よりも顕著に低い。したがって、本発明はON時の抵抗がより小さい永久電流スイッチ付超電導コイルを実現する。一方、永久電流スイッチにおけるOFF時の電気抵抗は、セラミックスにより十分に大きい。

【0020】また、本発明では、1本の酸化物超電導線の両端部を拡散接合することにより、超電導コイルおよび永久電流スイッチの両方を備える構造物を得ることができる。この場合、超電導コイルを形成する1本の酸化物超電導線の両端部分が拡散接合される。そしてこの両端部分が永久電流スイッチとして機能する。この場合、接合部分は1箇所であるため、接合による電気抵抗の増加は最小限に食い止められる。永久電流スイッチがONの状態にあるとき、このような構造物の電気抵抗は顕著に小さい。本発明は、接続抵抗を低く抑え、ON時において電流の減衰を低く抑えることができる。

【0021】本発明において、永久電流スイッチの酸化物超電導線は、歪みのあまりかからない状態で設けられることが好ましい。このため、永久電流スイッチの超電導線は、コイル状に巻かれていたことが好ましい。線材にダメージを与えないため、巻き直径はたとえば60mmφ以上とすることが好ましい。また、永久電流スイッチにおいて酸化物超電導線をコイル状にすれば、より長い線材をよりコンパクトな空間に収容することができる。

【0022】永久電流スイッチに用いられる酸化物超電導線の長さは、超電導コイルの巻き数や大きさによって適宜設定することができるが、たとえば、0.5m～5m、好ましくは1m～3mの範囲の長さとすることができる。

【0023】本発明において、永久電流スイッチ機構には、熱式、磁気式等の機構を用いることができる。一般に、熱式のスイッチ機構がよく利用される。スイッチングに用いられる発熱体には、マンガニン線等の電気抵抗により発熱する材料を好ましく用いることができる。超電導スイッチの使用時には、発熱体は、電源回路と、発熱を制御する手段に接続される。発熱体は、超電導線に接触するように設けられてもよく、電気絶縁材料を介して超電導線上に設けられてもよい。

【0024】永久電流スイッチが、液体ヘリウム、液体窒素等の冷媒に接触させられる場合、発熱体は熱絶縁材によって覆われる。熱絶縁材は、冷却のための環境と、酸化物超電導線材および発熱体との間に適当な温度勾配を形成し、発熱体および線材が急激に冷却されないよう熱緩衝材としての役割を果たす。また熱絶縁材は、スイッチのOFF時に超電導線を十分加熱することができるよう、発熱体を保護する。熱絶縁材には、たとえば、エポキシ樹脂等の樹脂材料、樹脂コンパウンド、シリコン系コンパウンド等を用いることができる。熱絶縁材には、使用する温度において、 $1 \cdot 10^{-2} \text{ W/cm} \cdot \text{K}$ ～ $1 \cdot 10^{-5} \text{ W/cm} \cdot \text{K}$ 、より好ましくは $1 \cdot 10^{-3} \text{ W/cm} \cdot \text{K}$ ～ $1 \cdot 10^{-6} \text{ W/cm} \cdot \text{K}$ の熱電導率を有する材料を用いることができる。

【0025】本発明による製造方法では、いわゆるリアクト・アンド・ワインド法が用いられる。この方法では、酸化物超電導体の焼結工程の後、超電導コイルおよびスイッチのための加工工程が行なわれる。酸化物超電導線は、超電導コイルを形成するため、その両端部分を所定の長さだけ残して巻かれる。残された両端部は、互いに重ね合わされるか、または、さらに準備された酸化物超電導線の両端部に重ね合わされる。たとえばガラステープを巻くことにより、重ね合わせた部分を固定することができる。重ね合わされた部分は、局所的に500℃～900℃、好ましくは700℃～860℃の温度で加熱される。加熱によって、重ね合わされた安定化材同士が接合する。加熱は、たとえばジルコニア、アルミナ等のステンレス鋼よりも熱電導率の低いセラミックスとステンレス鋼とを繋いだ芯材に超電導線材を巻いて行なうことが好ましい。この場合、局所的な加熱を施す線材部分はステンレス鋼からなる芯材に巻きつけ、超電導コイルに近い線材部分はセラミックスに巻きつけることが好ましい。線材を芯材に巻きつけた状態で800℃程度の温度で加熱する場合、線材または芯材のいずれか一方が他方の熱膨張率をはるかに超えて膨張しすぎると、線材に歪みがかかりダメージを与えられる。したがって、線

材に近い熱膨張率を有する材料に線材を巻きつけて加熱するのが好ましい。また、線材を巻きつけるべき材料は、耐熱性および耐酸化性を有し、線材との反応が起こらないものが望ましい。このような観点から、加熱部分に用いられる芯材はステンレス鋼からなることが好ましい。一方、接合のための加熱時において超電導コイルに熱的ダメージを与えないよう留意する必要がある。このため、芯材において超電導コイルに近い部分は、ステンレス鋼よりも熱導率の低いセラミックスから構成されることが好ましい。セラミックスは、接合部から超電導コイルへの熱電導を抑制するように働く。

【0026】本発明において、超電導コイルの形状は特に限定されるものではない。必要に応じてソレノイドコイル、パンケーキコイル等が用いられる。超電導コイルおよびスイッチは、液体ヘリウム、液体窒素等の冷媒により直接的に冷却することができる。また、冷凍機によって冷却を行なってもよい。冷凍機を用いる場合、永久電流スイッチの発熱体上に熱絶縁材を設けなくともよい。

【0027】

【実施例】

実施例1

ビスマス系酸化物超電導体が銀シースによって覆われた幅3.5mm、厚さ0.24mm、長さ80mmの酸化物超電導線を銅ボビンに巻き内径5.2mmφ、外径7.5mmφ、高さ80mmのソレノイドコイルを調製した。巻線間の絶縁は、テープ絶縁またはエナメル絶縁によって行なった。得られたソレノイドコイルの巻数は800、20Aの電流を流したときの中心磁場は1000Gであった。

【0028】図2に示すように、銅ボビン20上に巻かれたソレノイドコイル21の線材における両端部22aおよび22bを直径60mmφの芯材23に巻きつけた。巻きつけられた線材の両端部の長さは、約1mであった。芯材23は、銅ボビン20上に設けられ、芯材においてソレノイドコイルに近い部分23aはジルコニアのセラミックスからなり、他の部分23bはステンレス鋼からなっている。芯材23はチューブ形状であり、ソレノイドコイル21の高さ方向に配置される。

【0029】芯材23上に線材の端部22aおよび22bは適当な曲げ歪み率で巻かれ、ソレノイドコイル21から最も遠いところで重ね合わされている。重ね合わされた端部は、上からガラステープを巻くことにより固定されている。重ね合わされた部分22cは、加熱ヒータ24内に挿入され、約800℃の温度で加熱された。加熱ヒータ24は、芯材23に巻かれた線材全体を覆うものではなく、その一部を覆うものである。加熱により、拡散接合が起こり、ソレノイドコイルを構成する線材の両端部は接合された。

【0030】次に、図3に示すように、線材の接合部2

2cの近傍にヒータ25および熱電対26が設けられ、それらは、線材とともにエポキシ樹脂層27で覆われた。エポキシ樹脂層の厚みは、たとえば1~2cmであった。さらに図に示すように、ソレノイドコイル21に電流を供給するための電極28aおよび28bが形成された。このような構造物において、ヒータ25により加熱される酸化物超電導線材の部分はソレノイドコイル21のための永久電流スイッチとして機能する。このような構造物において、接合部は1箇所であり、接合による抵抗値の増加は最小限に食い止められている。

【0031】得られた構造体を液体ヘリウムに浸漬し、ヒータ25に電流を流して加熱を行ない、永久電流スイッチとして働く部分の酸化物超電導線を常電導状態(110K以上の温度)に転移させた。その状態で電極28aおよび28bを介してソレノイドコイル21に電源より電流を流した。ソレノイドコイル21が励磁されたら、ヒータ25の加熱をやめ、スイッチの部分の酸化物超電導体を超電導状態に戻した。この状態で励磁電源を取り外した結果、永久電流モードの状態が得られた。図3に示す構造物において、接合部の電気抵抗は0.1nΩ以下であった。一方、接合を共晶ハンダを用いて行なった場合、電気抵抗の測定値は約10nΩであった。このように本発明によれば、接合による電気抵抗を顕著に低減することができた。

【0032】実施例2

実施例1では、一本の超電導線を用い、拡散接合を1箇所で行なうことにより永久電流スイッチ付超電導コイルを作製したが、2本以上の超電導線を用いて拡散接合を2箇所以上で行なってもよい。たとえば図4に示すように、ソレノイドコイル31を構成するビスマス系酸化物超電導の端末部32aおよび32bと、別に準備したビスマス系酸化物超電導線42とをそれぞれ芯材33に巻き、端末を重ね合わせた。この場合、接合部32cおよび42cの2箇所において接合を行なった。加熱炉34により、接合部32cおよび42cを覆い、上記実施例と同様に加熱を行なって拡散接合を行なうことができた。なお、芯材33は、実施例1と同様にステンレス鋼からなる筒33aとジルコニアセラミックスからなる筒33bで構成し、ステンレス鋼の部分に巻きつけられた線材の部分を加熱した。

【0033】次に、図5に示すように、線材の接合部32cおよび42cの近傍にヒータ35および熱電対36を設け、それらを線材とともにエポキシ樹脂37で覆った。さらに電極38aおよび38bを形成し、永久電流スイッチ付超電導コイルが得られた。ヒータ35の加熱によって常電導状態に転移させることができる線材の部分は永久電流スイッチとして機能する。得られた構造体を液体ヘリウムに浸漬し、ヒータ35に電流を流して加熱を行ない、永久電流スイッチとして働く部分の酸化物超電導線を常電導状態(110K以上の温度)に転移さ

せた。その状態で電極38aおよび38bを介してソレノイドコイル31に電源より電流を流した。ソレノイドコイル31が励磁されたらヒータ35の加熱をやめ、スイッチ部分の酸化物超電導体を超電導状態に戻した。この状態で励磁電源を取り外した結果、永久電流モードの状態が得られた。図5に示す構造物において、接合部の電気抵抗は、約0.15nΩ以下であった。

【0034】

【発明の効果】上述したように、本発明によれば以下のような特性を備えた永久電流スイッチ付超電導コイルを提供することができる。

【0035】(1) 永久電流スイッチのON時において電気抵抗が顕著に小さい。

(2) 永久電流スイッチのOFF時において電気抵抗は十分に大きい。

【0036】(3) 永久電流スイッチに十分な電流を安定に流すことができる。

(4) 永久電流スイッチにおいてスイッチング時間が短く、信頼性および操作性が高い。

【0037】また本発明によれば、4.2Kの液体ヘリウム温度はもちろん、液体窒素温度(77.3K)以上の温度においても、永久電流モードで超電導コイルの運転を安定して行なうことができる。本発明は、エネルギー貯蔵用マグネット、リニアモータ、NMRの分析用マグ

ネット等に利用すると効果的である。

【図面の簡単な説明】

【図1】永久電流モードの運転方法を説明するための模式図である。

【図2】本発明に従って永久電流スイッチ付超電導コイルを製造するためのプロセスを示す模式図である。

【図3】本発明による永久電流スイッチ付超電導コイルの一例を示す模式図である。

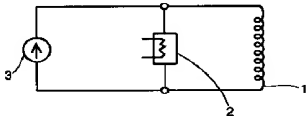
【図4】本発明に従って永久電流スイッチ付超電導コイルを製造するための他のプロセスを示す模式図である。

【図5】本発明による永久電流スイッチ付超電導コイルのもう1つの例を示す模式図である。

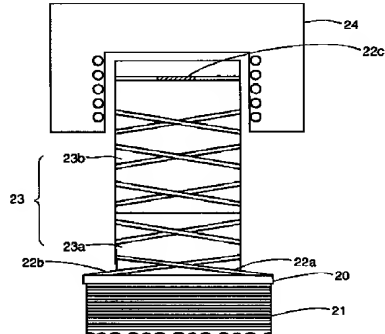
【符号の説明】

- 1 超電導マグネット
- 2 永久電流スイッチ
- 3 電源
- 21 ソレノイドコイル
- 22a、22b 線材の末端部
- 23 芯材
- 24 加熱ヒータ
- 25 ヒータ
- 26 熱電対
- 27 エポキシ樹脂層
- 28a、28b 電極

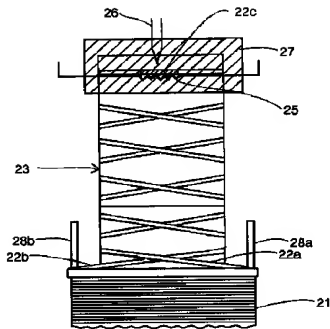
【図1】



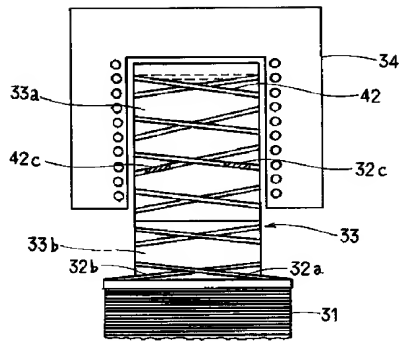
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

